

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2011/2012 Academic Session

June 2012

**EMC 322/3 – Automatic Control**  
***[Kawalan Automatik]***

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please check that this paper contains **NINE (9)** printed pages, **ONE (1)** page appendix, and **SIX (6)** questions before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** mukasurat bercetak, **SATU (1)** mukasurat lampiran dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

**Appendix/Lampiran:**

1. Appendix A

1 [page/mukasurat]

**INSTRUCTIONS:** Answer **FIVE (5)** questions. You may answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia** OR a combination of both.

**[ARAHAN:** Jawab **LIMA(5)** soalan. Calon boleh menjawab semua soalan dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.]

Answer to each question must begin from a new page.

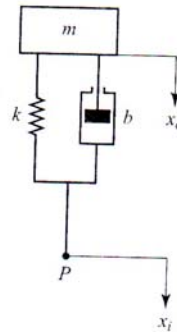
*[Jawapan untuk setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.]*

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]*

- Q1. [a]** The car suspension system is shown in Figure Q1[a]. Assuming that the motion  $x_i$  at point  $P$  is the input to the system and vertical motion  $x_o$  of the body is the output, determine the transfer function  $X_o(s)/X_i(s)$ . The motion of body takes place only in the vertical direction. Displacement  $x_o$  is measured from the equilibrium position in the absence of  $x_i$ .

Penyerap kejutan kereta ditunjukkan dalam Rajah S1[a]. Dengan menganggap pergerakan  $x_i$  pada titik  $P$  sebagai masukan kepada sistem dan pergerakan menegak  $x_o$  pada jasad adalah keluaran, tentukan rangkap pindah  $X_o(s)/X_i(s)$ . Anggapkan pergerakan pada jasad hanya berlaku pada arah menegak. Anjakan  $x_o$  diukur daripada keadaan seimbang tanpa kewujudan  $x_i$ .

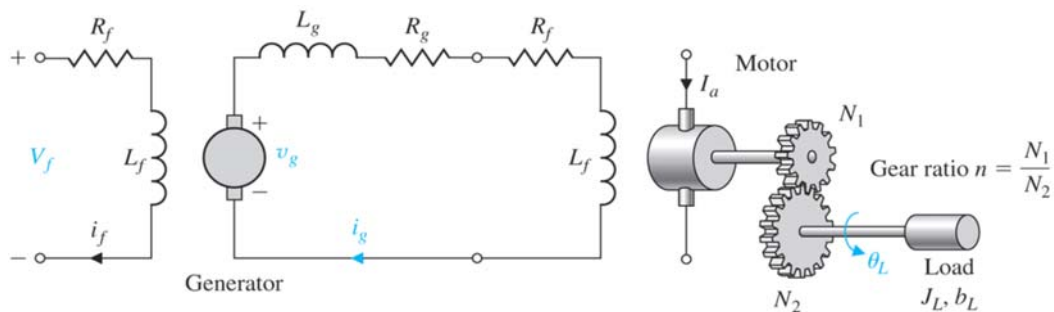


**Figure Q1[a]**  
Rajah S1[a]

(15 marks/markah)

- [b]** An electromechanical open-loop control system is shown in Figure Q1[b]. The generator, driven at a constant speed, provides the field voltage for the motor. The motor has an inertia  $J_m$  and bearing friction  $b_m$ . Determine the transfer function  $\theta_L(s)/V_f(s)$  and draw a block diagram of the system. The generator voltage  $v_g$  can be assumed to be proportional to the field current  $i_f$ .

Sebuah sistem gelung terbuka elektro mekanikal ditunjukkan dalam Rajah S1[b]. Penjana digerakkan dengan halaju seragam bagi membekalkan medan voltan untuk motor. Motor menghasilkan inersia  $J_m$  dan geseran galas  $b_m$ . Tentukan rangkap pindah  $\theta_L(s)/V_f(s)$  dan lukiskan gambarajah blok bagi sistem ini. Anggapkan voltan penjana  $v_g$  adalah berkadar terus dengan arus medan  $i_f$ .



**Figure Q1[b]**  
Rajah S1[b]

(35 marks/markah)

- [c] A multivariable system is shown in Figure Q1[c]. Determine the transfer function  $Y_1(s)/R_2(s)$ .

Sistem pelbagai pembolehubah ditunjukkan dalam Rajah S1[c]. Tentukan rangkap pindah  $Y_1(s)/R_2(s)$ .

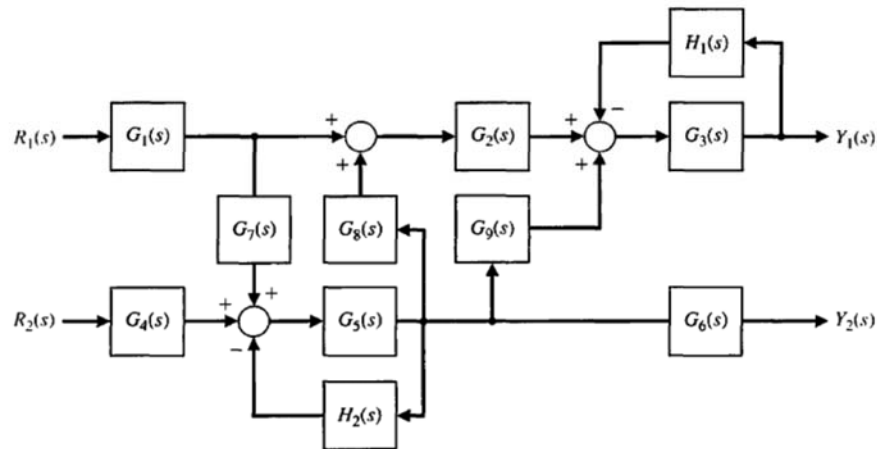


Figure Q1[c]  
Rajah S1[c]

(25 marks/markah)

- [d] Determine the partial fraction expansion and find the inverse Laplace transform of a system response which is represented by the equation.

Tentukan pengembangan pecahan separa dan dapatkan penjelmaan Laplace songsang bagi satu sambutan system yang diwakili oleh persamaan.

$$Y(s) = 25/(s^2 + 5s + 25)$$

(25 marks/markah)

- Q2. Consider the unity feedback system shown in Figure Q2. The system has two parameters, the controller gain  $M$  and the constant  $M_1$  in the process.

Pertimbangkan sistem suap-balik seunit ditunjukkan dalam Rajah S2. Sistem tersebut mempunyai dua parameter; gandaan pengawal  $M$  dan pemalar  $M_1$  dalam prosesnya.

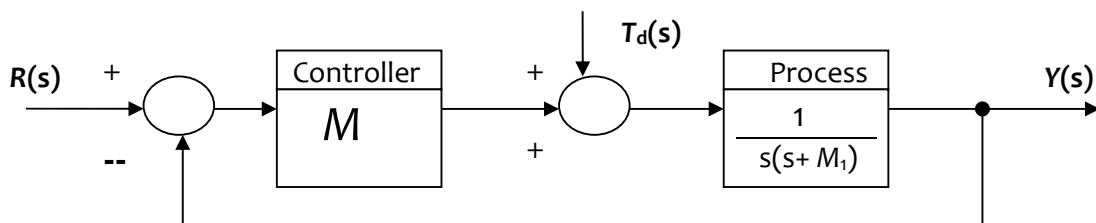


Figure Q2  
Rajah S2

- [a] Find the sensitivity of the close loop transfer function to changes in  $M_1$ .

*Dapatkan kepekaan rangkap pindah gelung tertutup terhadap perubahan dalam  $M_1$ .*

(30 marks/markah)

- [b] Calculate the steady state error of closed loop system due to unit step input  $R(s) = 1/s$  when  $M = 100$  and  $M_1 = 5$ . Assume there is no disturbance.

*Kira ralat keadaan mantap sistem gelung tertutup akibat satu masukan pelangkah unit  $R(s)=1/s$  apabila  $M=100$  dan  $M_1=5$ . Anggap tiada gangguan.*

(35 marks/markah)

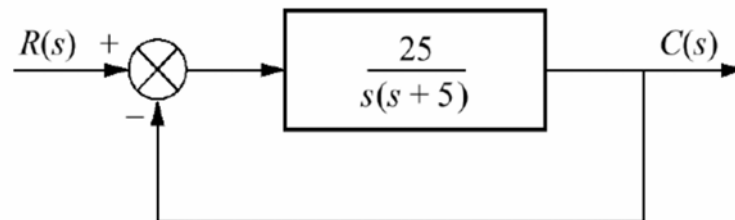
- [c] Calculate the steady state response of closed loop system due to unit step disturbance  $T_d(s) = 1/s$  when  $M = 100$  and  $M_1 = 100$ . Assume the input is  $R(s) = 0$ .

*Kira sambutan keadaan mantap sistem gelung tertutup akibat satu gangguan pelangkah unit  $T_d(s)=1/s$  apabila  $M=100$  dan  $M_1=100$ . Anggap masukan  $R(s)=0$ .*

(35 marks/markah)

- Q3. The antenna azimuth position control system can be considered as shown in Figure Q3.**

*Sistem pengawalan kedudukan azimuth antena boleh dipertimbangkan seperti di rajah S3.*



**Figure Q3**  
Rajah S3

- [a] Find the transfer function  $C(s)/R(s)$  and explain the system response.

*Dapatkan rangkap pindah  $C(s)/R(s)$  serta jelaskan sambutan sistem tersebut.*

(30 marks/markah)

- [b] For the system shown in the figure, determine the peak time  $T_p$ , settling time  $T_s$  and percentage overshoot  $P.O$ .

*Bagi sistem dalam rajah tersebut, tentukan masa puncak  $T_p$ , masa enapan  $T_s$  dan peratus lajukan  $P.O$ .*

(35 marks/markah)

- [c] Determine the range of gain,  $K$ , for the feedback control system in the figure so that the system will respond with a 10% overshoot.

Bagi sistem pengawalan suap-balik dalam rajah, tentukan julat gandaan  $K$ , supaya sistem memperoleh sambutan peratus lajukan 10%.

(35 marks/markah)

- Q4.** A feedback control system is shown in Figure Q4. The controller, process and feedback transfer functions are given by  $G_c(s) = K$ ,  $G(s) = \frac{s+40}{s(s+10)}$  and  $H(s) = \frac{1}{s+20}$ .

Sistem kawalan suap-balik ditunjukkan dalam Rajah S4. Rangkap pindah pengawal, proses dan suap-baliknya adalah diberikan oleh  $G_c(s) = K$ ,  $G(s) = \frac{s+40}{s(s+10)}$  dan  $H(s) = \frac{1}{s+20}$ .

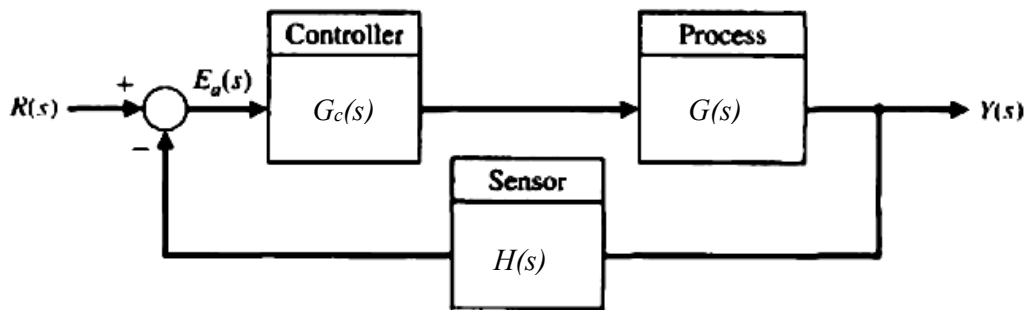


Figure Q4  
Rajah S4

- [a] Determine the stability of the system using the Routh-Hurwitz criterion when gain  $K = 660$ .

Tentukan ketabilan sistem tersebut menggunakan kriteria Routh-Hurwitz apabila gandaan  $K = 660$ .

(25 marks/markah)

- [b] Determine the limiting value of gain  $K$  for a stable system using the Routh-Hurwitz criterion.

Tentukan had nilai gandaan  $K$  bagi satu sistem yang stabil menggunakan kriteria Routh-Hurwitz.

(25 marks/markah)

- [c] Determine the imaginary roots for the maximum gain  $K$  that results in marginal stability using the Routh-Hurwitz criterion.

Tentukan punca-punca khayalan bagi gandaan  $K$  maksima yang mengakibatkan kestabilan marginal menggunakan kriteria Routh-Hurwitz.

(20 marks/markah)

- [d] Reduce the gain  $K$  to half the magnitude of the maximum gain that results in marginal stability and determine the relative stability of the system by shifting the axis and using the Routh-Hurwitz criterion. Show the roots are between -1 and -2.

*Kurangkan gandaan  $K$  kepada separuh magnitud gandaan maksimum yang mengakibatkan kestabilan marginal dan tentukan kestabilan relatif sistem dengan menganjakkan paksi dan menggunakan kriteria Routh-Hurwitz. Tunjukkan punca-puncanya antara -1 dan -2.*

(30 marks/markah)

- Q5.** In recent years, many automatic control systems for guided vehicles in factories have been installed. One system uses a magnetic tape applied to the floor to guide the vehicle along the desired lane. Using transponder tags on the floor, the automatically guided vehicles can be tasked (for example, to speed up or slow down) at key locations. An example of a guided vehicle in a factory is shown in Figure Q5[a] and its block diagram is shown in Figure Q5[b]. Given  $G(s) = \frac{s^2+4s+100}{s(s+2)(s+6)}$  and  $K_a$  is the amplifier gain.

*Dalam tahun-tahun kebelakangan ini, banyak sistem kawalan automatik bagi kenderaan-kenderaan terpandu dalam kilang telah dipasang. Satu sistem menggunakan satu pita magnet pada lantai untuk memandu kenderaan tersebut sepanjang laluan dikehendaki. Menggunakan tanda-tanda transponder di atas lantai, kenderaan-kenderaan terpandu automatik boleh ditugaskan (sebagai contoh, untuk mempercepatkan atau melambatkan) pada kedudukan-kedudukan utama. Satu contoh kenderaan terpandu dalam sebuah kilang ditunjukkan dalam Rajah S5[a] dan gambarajah bloknya ditunjukkan dalam Rajah S5[b]. Diberi  $G(s) = \frac{s^2+4s+100}{s(s+2)(s+6)}$  dan  $K_a$  adalah gandaan penguatnya.*



**Figure Q5[a]**  
*Rajah S5[a]*

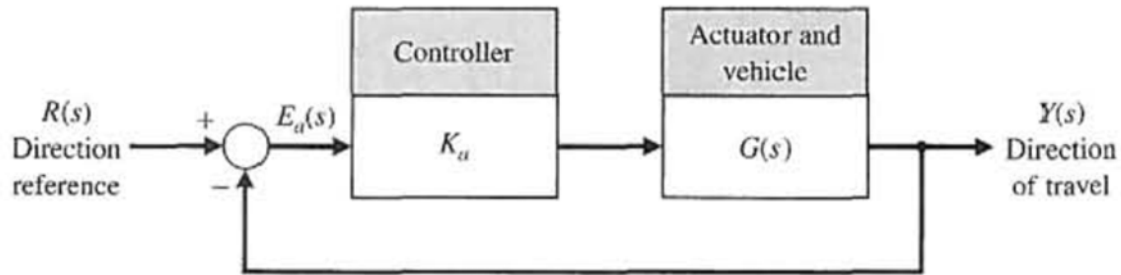


Figure Q5[b]  
Rajah S5[b]

- [a] **Determine the number of separate loci. Locate the poles and zeros in the s-plane and locate the segment of the real axis that are root loci.**

*Tentukan bilangan londar berasingan. Lukis kedudukan kutub-kutub dan sifar-sifar dalam satah-s dan lukis segmen paksi nyata yang londar punca.*

(20 marks/markah)

- [b] **Determine the asymptote center and angle.**

*Tentukan pusat dan sudut asymptot.*

(10 marks/markah)

- [c] **Determine the points at which the locus crosses the imaginary axis.**

*Tentukan titik-titik di mana londar tersebut merentas paksi khayalan.*

(30 marks/markah)

- [d] **Determine the angle of locus arrival at complex zero using the phase criterion.**

*Tentukan sudut ketibaan londar pada sifar kompleks menggunakan kriteria fasa.*

(20 marks/markah)

- [e] **Complete the root locus sketch.**

*Lengkapkan lakaran londar puncanya.*

(20 marks/markah)

- Q6. [a] A stabilized precision rate table uses a precision tachometer and a DC direct-drive torque motor, as shown in Figure Q6[a]. We want to maintain a high steady-state accuracy for the speed control. To obtain a zero steady-state error for a step command design, a proportional plus integral compensator is selected. Determine the appropriate gain constant so that the system has an overshoot of approximately 10% and a settling time (with a 2% criterion) less than 1.5 seconds.

Satu jadual kadar kejituan yang stabil menggunakan satu takometer jitu dan motor kilas pacuan langsung DC, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S6[a]. Kita mahu mengekalkan satu kejituan keadaan mantap yang tinggi bagi kawalan lajunya. Untuk mendapatkan ralat keadaan mantap sifar bagi satu rekabentuk arahan langkah, pemampas berkadaran ditambah kamiran akan dipilih. Tentukan pemalar gandaan yang sesuai supaya sistem tersebut mempunyai lajukan kira-kira 10% dan satu masa penetapan (dengan kriteria 2%) kurang daripada 1.5 saat.

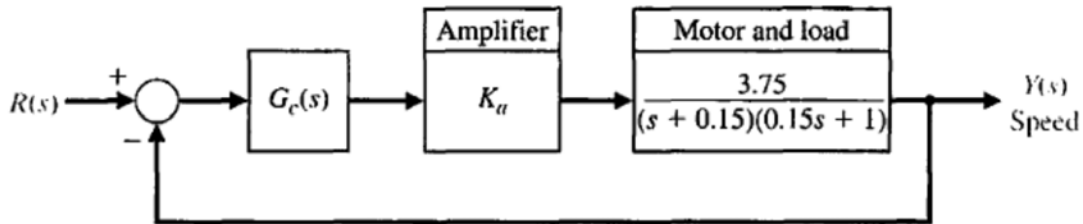


Figure Q6[a]

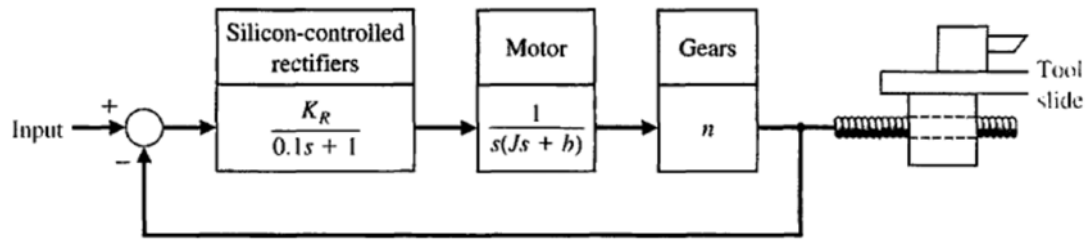
Rajah S6[a]

(40 marks/markah)

- [b] A numerical path-controlled machine turret lathe is an interesting problem in attaining sufficient accuracy. A block diagram of a turret lathe control system is shown in Figure Q6[b]. The gear ratio is  $n = 0.1$ , the inertia is  $J = 0.001 \text{ Nms}^2$ , and the friction coefficient is  $b = 0.01$ . It is necessary to attain an accuracy of  $0.0127 \text{ mm}$ , and therefore a steady-state position accuracy of  $2.5\%$  is specified for a ramp input. Design a cascade compensator to be inserted before the silicon-controlled rectifiers in order to provide a response to a step command with an overshoot of less than  $5\%$ . A suitable damping ratio for this system is  $0.7$ . The gain of the silicon-controlled rectifiers is  $K_R = 5$ . Design a suitable lag compensator by using root locus method.

Satu mesin pelarik turet terkawal laluan berangka adalah suatu masalah yang menarik dalam mencapai ketepatan yang mencukupi. Gambarajah blok sistem kawalan larik turut ditunjukkan dalam Rajah S6[b]. Nisbah gear ialah  $n = 0.1$ , inersia adalah  $J = 0.001 \text{ Nms}^2$ , dan pekali geseran adalah  $b = 0.01$ . Ia adalah penting untuk mencapai ketepatan  $0.0127 \text{ mm}$ , dan oleh yang demikian satu ketepatan kedudukan keadaan mantap sebanyak  $2.5\%$  ditentukan bagi satu masukan tanjakan. Rekabentuk satu pemampas lata akan diselitkan sebelum penerus terkawal silikon bagi menyediakan satu sambutan terhadap satu arahan langkah dengan satu lajukan kurang daripada  $5\%$ . Satu nisbah peredam yang sesuai bagi sistem ini adalah  $0.7$ . Gandaan penerus terkawal silikon adalah  $K_R = 5$ . Rekabentuk satu pemampas mengekor yang sesuai dengan menggunakan kaedah londar punca.





**Figure Q6[b]**  
*Rajah S6[b]*

(60 marks/markah)

-oooOOooo-